

Peningkatan Kualitas Produk GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) Roster pada UD. XYZ Malang Menggunakan Metode Taguchi

Muhammad Sigit Prabowo, Yurida Ekawati*

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung
Villa Puncak Tidar N-01, Malang 65651

Article Info

Article history:

Received
7 Oktober 2019

Accepted
3 January 2020

Keywords:

Quality
Taguchi
Cost Analysis
GRC Roster

Abstract

The growth of manufacturing industries has caused the competition among companies becomes tighter. Therefore, companies need to make an effort to survive. One of the things that must be considered is the quality of products produced by the company. This research is conducted to design a refinement or quality improvement for GRC roster products in UD. XYZ Malang. The quality improvement is done with Taguchi method experimental design in order to get optimal combination for the materials. As for the orthogonal array notation used is $L_9(3^4)$ with gypsum (A), sand (B), cement (C), and water (D) as the controlling factors. The data processing is carried out using ANOVA towards the average value and SNR with larger the better classification. The ANOVA calculation is done in order to find out the significantly influential factors in product durability. The test done to find out the product durability is a pressure test. According to the result of data processing, the ratio of optimal mixture composition *gypsum: sand: cement: water* is 2:2:2:1 (A₃, B₂, C₃, dan D₂). A confirmation experiment is conducted to the optimal composition. The analysis of the material cost for each experiment is done to justify the effectiveness of the optimal designed product chosen. Based on the pressure durability and cost calculation, the mean of result is 13,256 kg/cm² for the pressure durability which indicates the quality is better than the existing product and able to save costs of Rp 1.630,927 in order to produce one GRC Roster.

1. PENDAHULUAN

Perusahaan manufaktur merupakan salah satu penopang utama perkembangan industri di Indonesia. Perkembangan industri yang terjadi dapat dilihat dari aspek kualitas produk yang dihasilkan maupun kinerja industri secara keseluruhan. Adanya perkembangan industri yang semakin meningkat menyebabkan persaingan antar perusahaan semakin ketat. Maka dari itu, perusahaan perlu melakukan suatu upaya agar perusahaan dapat tetap bertahan. Salah satu hal yang harus tetap diperhatikan adalah kualitas produk yang dihasilkan oleh perusahaan. Fokus perusahaan terhadap kualitas produk yang dihasilkan dapat dilakukan dengan melakukan perbaikan atau peningkatan kualitas secara bertahap dengan mempertimbangkan berbagai aspek.

UD. XYZ Malang merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri manufaktur yakni memproduksi beberapa jenis material bangunan seperti paving, batako, bata ringan, GRC (*Glassfibre Reinforced Cement*) roster, plavon, hiasan air mancur, dan lain-lain. Meskipun persaingan di dunia industri manufaktur material

bangunan semakin ketat, namun UD. XYZ Malang belum melakukan suatu upayaantisipasi terhadap kualitas produk yang dihasilkan, salah satunya yakni produk GRC roster. GRC roster adalah salah satu produk yang dihasilkan oleh UD. XYZ Malang yang berfungsi sebagai ventilasi udara dan dekorasi ruangan.

Proses produksi GRC roster dilakukan secara manual tanpa bantuan mesin. Permasalahan yang muncul adalah pembuatan produk GRC roster hanya berdasarkan perkiraan dari para pekerja sehingga tidak ada komposisi dan proses yang baku. Hal ini menyebabkan ketidaksetaraan kualitas dalam hal ini kekerasan produk GRC roster yang dihasilkan. Ketidak samaan kekerasan produk tersebut menyebabkan beberapa produk mudah patah. Maka dari itu, perlu dilakukan upaya untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk GRC roster di UD. XYZ Malang yang bertujuan untuk memberikan solusi bagi perusahaan dalam mendapatkan komposisi bahan baku dan proses yang tepat sehingga diperoleh produk GRC roster yang optimal dari sisi kuat tekannya.

*Corresponding author. Yurida Ekawati

Email address: yurida.ekawati@machung.ac.id

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas dan menentukan komposisi yang tepat untuk memproduksi produk GRC roster adalah dengan menggunakan desain eksperimen Taguchi yang disertai analisis biaya produksi agar UD. XYZ Malang mampu menghasilkan produk GRC roster dengan kuat tekan yang tinggi namun dengan biaya minimal.

2. TINJAUAN LITERATUR

2.1 Kualitas

Kualitas merupakan faktor yang terdapat dalam suatu produk yang menyebabkan produk tersebut bernilai sesuai dengan maksud untuk apa produk itu diproduksi. Menurut Montgomery (2009), kualitas merupakan kebalikan dari variabilitas, dimana semakin kecil variabilitas suatu produk maka semakin tinggi kualitas suatu produk tersebut.

Menurut Tjiptono (2003), kualitas dibagi ke dalam delapan dimensi, yaitu *performance*, *durability*, *features*, *reliability*, *aesthetics*, *serviceability*, *conformance to specification*, dan *perceived quality*, dimana kedelapan dimensi tersebut bertujuan untuk perencanaan strategi dan analisis kualitas lebih lanjut.

2.2 Desain eksperimen

Menurut Soejanto (2009), desain eksperimen merupakan serangkaian percobaan yang dilakukan secara berurutan dengan mengubah-ubah variabel input dalam suatu proses sehingga dapat melihat dan mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada variabel output. Desain eksperimen bertujuan untuk memahami bagaimana mengurangi dan mengendalikan variasi suatu produk atau proses, berikutnya harus diambil keputusan berkaitan dengan parameter-parameter yang mempengaruhi performansi suatu produk atau proses.

2.3 Metode Taguchi

Metode ini merupakan metodologi dalam bidang teknik yang dicetuskan oleh Genichi Taguchi pada tahun 1959 saat mendapat tugas untuk memperbaiki sistem komunikasi di Jepang. Tujuan dari metode ini adalah untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta dalam dapat menekan biaya dan *resources* seminimal mungkin. Sasaran metode Taguchi adalah menjadikan produk *robust* terhadap *noise*, karena itu sering disebut sebagai *robust design* terhadap faktor yang sulit dikendalikan.

Menurut Setyanto dan Lukodono (2017), derajat kebebasan merupakan banyaknya pengukuran bebas yang dapat dilakukan untuk menaksir sumber informasi. Melalui derajat kebebasan, dapat

diketahui jumlah minimal eksperimen yang dilakukan. Secara umum, derajat bebas suatu faktor (db) adalah satu kurang dari banyak level faktor tersebut. Berikut merupakan rumus perhitungan derajat kebebasan:

$$db = \text{banyak level} - 1 \quad (1)$$

2.4 Signal to Noise Ratio (S/N)

Signal to Noise Ratio (S/N) digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi variasi suatu respon (Soejanto, 2009). Menurut Taguchi, karakteristik kualitas yang terukur dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. *Nominal is the best*

Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu.

$$SN_{STB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

2. *Smaller the better*

Karakteristik dimana nilai yang dituju adalah suatu nilai terkecil (semakin mendekati nol, semakin baik).

$$SN_{LTB} = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (3)$$

3. *Larger the better*

Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar semakin baik (tak terhingga sebagai nilai idealnya).

$$SN_{NTB} = 10 \log \left[\frac{\mu^2}{\sigma^2} \right] \quad (4)$$

Keterangan :

n = jumlah eksperimen; y_i = data pengalaman ke- i; μ = rata-rata; σ = standar deviasi

2.5 Analisis varians

Metode Taguchi menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) data variabel bertujuan untuk mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai respon. *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan metode yang digunakan untuk mencari setting level optimal guna meminimalkan penyimpangan variansi. Berikut adalah langkah-langkah dalam ANOVA:

1. Rasio S/N, digunakan untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil eksperimen.
2. Uji Hipotesis F, dilakukan dengan cara membandingkan variansi yang disebabkan masing-masing faktor dan variansi error.
3. *Polling up* faktor, dirancang untuk mengestimasi variansi error pada analisis varians. *Polling up* akan mengakumulasi beberapa varians error dari beberapa faktor yang kurang berarti.
4. Persen kontribusi, untuk mengetahui seberapa besar kontribusi yang diberikan oleh masing-masing faktor dan interaksi.

Analisis varians pada metode Taguchi memiliki kegunaan suatu metode statistik untuk menginterpretasikan data-data hasil eksperimen. Menurut Soejanto (2009, analisis varians pada metode Taguchi dilakukan dengan langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai rata-rata keseluruhan eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad (5)$$

2. Perhitungan rata-rata respon masing-masing eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y_{ijk}}{n_{ijk}} \quad (6)$$

3. Perhitungan jumlah kuadrat total (*total sum of square*)

$$SS_{total} = \sum y^2 \quad (7)$$

4. Perhitungan *total sum of square due to mean*

$$S_m = n \cdot \bar{y}^2 \quad (8)$$

5. Perhitungan *total sum of square due to factors*

$$(n_{i1} \cdot \bar{l}_1^2 + n_{i2} \cdot \bar{l}_2^2 + \dots + n_{ij} \cdot \bar{l}_j^2) - S_m \quad (9)$$

6. Perhitungan *total sum of square due to error*

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (SS_A + SS_B + \dots + SS_i) \quad (10)$$

7. Perhitungan *the mean square*

$$MS_i = \frac{SS_i}{DF_i} \quad (11)$$

8. Perhitungan F_{ratio} atau F_{hitung}

$$F_{ratio} = \frac{MS_i}{MS_e} \quad (12)$$

9. Perhitungan *pure sum of square*

$$SS_i' = (SS_i - (DF_i \cdot MS_e)) \quad (13)$$

10. Perhitungan persen kontribusi

$$\rho_i = \frac{SS_{iU}}{SS_t} \quad (14)$$

2.6 Eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang bertujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang diperoleh selama tahap analisis data hasil eksperimen (Soejanto, 2009).

1. Memperkirakan nilai rata-rata

Adapun untuk memperkirakan rata-rata ini dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} = \bar{y} + (\bar{A}_1 - \bar{y}) + (\bar{B}_1 - \bar{y}) + \dots + (X_i - \bar{y}) \quad (15)$$

2. Menghitung interval atau selang kepercayaan untuk nilai perkiraan rata-rata

Dalam membuat interval kepercayaan perlu untuk dilakukan perhitungan nilai CI dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1,v2)} x MS_e x \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (16)$$

$$n_{eff} = \frac{\text{Jumlah total eksperimen}}{\text{Jumlah DF dalam perkiraan rata-rata}} \quad (17)$$

Berdasarkan perhitungan $\mu_{prediksi}$ dan CI, maka dapat dibuat interval kepercayaan dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} - CI \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI \quad (18)$$

3. Menghitung interval kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$CI = \pm \sqrt{F_{(\alpha;v1,v2)} x MS_e x \left[\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right]} \quad (19)$$

dimana r merupakan ukuran sampel atau jumlah replikasi yang digunakan dalam eksperimen konfirmasi. Selanjutnya akan dibuat interval kepercayaan dengan menggunakan rumus (19).

4. Membandingkan hasil perhitungan interval kepercayaan pada kondisi optimal dengan konfirmasi.

2.7 Eksperimen konfirmasi

Diagram sebab akibat (diagram Ishikawa) dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1943. Diagram ini menunjukkan sebab akibat yang digambarkan dengan garis dan simbol-simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dan penyebab suatu masalah. Gaspersz (2002), mengatakan bahwa diagram sebab akibat digunakan untuk menunjukkan faktor-faktor penyebab dan karakteristik kualitas (akibat) yang disebabkan oleh faktor-faktor penyebab tersebut. Adapun diagram sebab akibat yang digunakan dikutip menurut Balavendram (1995).

2.8 Eksperimen konfirmasi

Menurut Febriana (2006), uji kekuatan tekan merupakan aktivitas yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari sebuah benda yang didapatkan dari nilai kuat tekan dengan prosedur tertentu. Kuat tekan beton ringan merupakan besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji tekan beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Universitas Brawijaya dengan menggunakan alat uji kuat tekan. Perhitungan kuat tekan didapatkan dari hasil pembagian antara beban tekan yang mampu diterima dengan luas bidang benda uji.

2.9 Biaya produksi

Menurut Mulyadi (1999) biaya produksi adalah biaya yang terjadi untuk mengolah bahan baku menjadi produk jadi yang siap untuk dijual. Contohnya adalah biaya depresiasi mesin dan *equipment*, biaya bahan baku, biaya bahan penolong, biaya gaji karyawan yang digunakan yang bekerja dalam bagan-bagian, baik langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan proses produksi.

Sedangkan menurut Sriyadi (1995), biaya produksi adalah pengorbanan yang seharusnya dapat diduga lebih dahulu dan tidak dapat dihindarkan, yang dapat dihitung dengan nilai uang dan yang berhubungan dengan produksi barang dan jasa. Berikut merupakan rumus untuk menghitung biaya produksi:

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Direct Material} + \text{Direct Labor} + \text{Overhead} \dots \dots \dots (20)$$

3. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian ini diawali oleh pengamatan awal hingga penarikan kesimpulan dan saran. Penelitian dilakukan di UD. XYZ Malang mulai Januari hingga Mei 2019. Bahan baku yang digunakan antara lain gipsum, pasir, semen, dan air, sedangkan peralatan yang digunakan antara lain ember, cetok, timbangan, gelas ukur, dan cetakan. Adapun karakteristik kualitas yang dipilih pada penelitian ini adalah *larger the better* di mana semakin tinggi kuat tekan produk GRC roster yang diteliti maka kualitasnya dinilai semakin baik. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung karakteristik kualitas *larger the better* adalah rumus (2.4). Adapun diagram alir penelitian dapat dilihat di Gambar 1.

3.1 Proses pembuatan GRC roster

Proses pembuatan produk GRC roster di UD. XYZ Malang diawali dengan pencampuran bahan baku berupa gipsum, semen, pasir, dan air di mana selanjutnya bahan baku tersebut akan diaduk dalam sebuah wadah berupa ember. Pengadukan dilakukan selama beberapa menit dan kemudian dilakukan proses pencetakan. Pencetakan dilakukan dengan menggunakan alat cetakan produk GRC roster dengan ukuran 20 cm x 20 cm x 15 cm. Proses pencetakan dilakukan dengan menuangkan adonan yang telah dicampur dan diaduk dalam ember ke alat cetakan hingga cetakan tersebut penuh. Ketika cetakan sudah penuh, maka adonan tersebut didiamkan selama 1 jam lalu cetakan dapat dibuka dan adonan tersebut sudah agak kering kemudian dikeluarkan dari cetakan tersebut. Pengeringan dilakukan dengan cara dijemur di dalam ruangan maupun di luar ruangan agar produk tersebut bisa kering secara keseluruhan. GRC roster akan mencapai tingkat kekerasan yang optimal pada umur empat belas hari yang dihitung sejak dikeluarkan dari cetakan.

Adapun jenis pasir yang digunakan dalam pembuatan GRC roster adalah pasir hitam. Sedangkan jenis gipsum yang digunakan adalah gipsum bubuk dengan jenis gipsum *casting*. Pemilihan jenis bahan baku ini dikarenakan bahan baku jenis di atas dirasa memiliki kualitas yang baik untuk memproduksi GRC roster.

3.2 Analisis faktor penyebab masalah

Analisis dilakukan dengan menggunakan diagram sebab akibat (*fishbone diagram*) atau diagram tulang ikan. Hasil analisis penyebab masalah terhadap kualitas GRC roster dengan menggunakan diagram sebab akibat dapat dilihat di Gambar 2.

Berdasarkan diagram sebab akibat kualitas GRC Roster pada gambar 2, diketahui bahwa terdapat lima faktor utama yang menyebabkan GRC roster memiliki varians yang besar berdasarkan kuat tekannya. Kelima faktor tersebut terdiri dari faktor manusia, material, lingkungan, metode, dan proses. Pada faktor manusia, kelalaian pekerja yang diakibatkan oleh kelelahan dan kejenuhan karena bekerja secara manual tanpa bantuan mesin menyebabkan varians pada GRC roster yang diproduksi. Pada faktor material, timbulnya varians pada GRC roster yang diproduksi disebabkan oleh adanya ketidaksesuaian dalam mencampurkan bahan baku dalam membuat GRC roster. Adanya ketidaksesuaian dalam mencampurkan bahan baku tersebut dikarenakan belum adanya takaran komposisi yang baku dalam memproduksi GRC roster di UD. XYZ Malang. Adapun faktor ketiga yang mempengaruhi kuat tekan GRC roster adalah lingkungan. Lingkungan kerja di UD. XYZ Malang hanya memiliki satu pintu ruangan dan sirkulasi udara di tempat kerja tersebut sangat minim. Selain itu, lingkungan kerja UD. XYZ Malang tertutup dan dikelilingi oleh tembok. Hal ini menyebabkan suhu udara di lingkungan kerja tinggi sehingga mengakibatkan konsentrasi pekerja berkurang saat memproduksi GRC roster, ditambah pembuatan GRC roster di UD. XYZ Malang belum memiliki komposisi yang baku. Mencampurkan komposisi bahan baku saat pekerja kurang berkonsentrasi dapat mempengaruhi kuat tekan GRC roster yang diproduksi. Faktor keempat adalah faktor metode yakni kesalahan mencampur bahan baku yang dilakukan oleh pekerja saat memproduksi GRC. Hal ini dikarenakan proses pembuatan GRC roster dilakukan secara manual tanpa bantuan mesin. Faktor yang selanjutnya adalah faktor proses dimana proses yang dimaksud adalah lama pengeringan GRC roster setelah dicetak. Faktor tersebut berpengaruh pada kuat tekan GRC roster dimana semakin lama waktu pengeringan produk GRC roster maka kuat tekannya akan semakin baik dan sebaliknya jika lama pengeringan hanya sebentar maka dapat menyebabkan kuat tekan GRC roster menjadi lebih rendah.

3.3 Perancangan Eksperimen

Perbaikan dilakukan dengan melakukan desain eksperimen terhadap komposisi GRC roster. Perancangan eksperimen dilakukan dengan tiga tahapan yaitu, perencanaan eksperimen, pelaksanaan eksperimen dan pengolahan data hasil eksperimen.

3.3.1 Perencanaan eksperimen

Tahap awal ini merupakan tahap yang sangat penting agar pelaksanaan eksperimen dapat berjalan dengan lancar. Dalam perencanaan eksperimen terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan,

mulai pengumpulan data hingga pembuatan matriks ortogonal.

Langkah pertama adalah pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara, pengamatan langsung, dan dokumentasi. Wawancara dilakukan dengan kepala produksi di UD. XYZ Malang. Melalui wawancara dengan kepala produksi didapatkan sejumlah informasi mengenai apa saja bahan baku yang digunakan untuk membuat produk GRC roster dan proses pembuatannya. Adapun bahan baku yang digunakan untuk membuat GRC Roster adalah semen, pasir, gipsum, dan air. Berdasarkan hasil observasi, didapatkan informasi mengenai proses produksi GRC roster, bahan baku apa saja yang digunakan untuk memproduksi material bangunan, dan harga bahan baku yang digunakan di UD. XYZ Malang.

Langkah kedua adalah identifikasi karakteristik kualitas. Identifikasi karakteristik kualitas ini penting untuk dilakukan agar fokus eksperimen atau percobaan yang dilakukan lebih terarah. Adapun karakteristik kualitas yang dipilih pada penelitian ini adalah *larger the better* di mana semakin tinggi kuat tekan produk GRC roster yang diteliti maka kualitasnya dinilai semakin baik.

Langkah yang ketiga adalah menentukan factor-faktor eksperimen. Faktor kontrol merupakan suatu faktor dimana nilai dari faktor tersebut dapat dikendalikan, sedangkan faktor gangguan merupakan suatu faktor yang nilainya tidak bisa dikendalikan. Setelah berdiskusi dengan kepala produksi, adapun faktor kontrol yang digunakan dalam eksperimen adalah faktor material dan metode. Material terdiri bahan baku yang digunakan untuk memproduksi GRC Roster yakni gipsum, pasir, semen, dan air. Keempat komponen tersebut dipilih karena merupakan komponen yang paling memungkinkan untuk dikendalikan oleh peneliti dan oleh pekerja pada saat memproduksi GRC roster. Di sisi lain, faktor metode merupakan takaran komposisi bahan baku saat memproduksi GRC roster dan campuran yang digunakan bisa ditentukan dengan matriks ortogonal. Faktor yang dipilih untuk melakukan eksperimen adalah faktor kontrol yakni bahan baku yang digunakan untuk membuat produk GRC Roster.

Langkah selanjutnya adalah penentuan level faktor. Adapun level yang diberikan untuk faktor kontrol yang telah dapat dilihat di Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa masing-masing faktor yang telah ditentukan memiliki tiga level yang akan digunakan untuk melakukan eksperimen. Besaran angka yang tertera pada tabel menunjukkan perbandingan yang akan digunakan dalam campuran komposisi dan kombinasi pembuatan GRC roster. Sebagai contoh jika level yang digunakan untuk komposisi gipsum adalah

level II, komposisi pasir adalah level I, komposisi semen adalah level III, dan komposisi air adalah level II, maka perbandingan komposisi gipsum:pasir:semen:air adalah 1,5:1:2:1.

Tabel 1:
Faktor dan Level Eksperimen.

Faktor	Kode	Level		
		I	II	III
Gipsum	A	1	1,5	2
Pasir	B	1	2	3
Semen	C	0,5	1	2
Air	D	0,8	1	1,2

Pemilihan angka perbandingan untuk komposisi masing-masing faktor tersebut diperoleh dari hasil wawancara yang dilakukan dengan kepala produksi di UD. XYZ. Material gipsum memiliki angka perbandingan terkecil adalah 1 dan terbesar adalah 2. Hal ini dikarenakan jika perbandingan gipsum yang digunakan dalam adonan kurang dari 1 maka adonan GRC roster menjadi terlalu encer dan adonan tersebut membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengeringkannya. Di sisi lain, jika perbandingan gipsum yang digunakan dalam adonan lebih dari 2, maka adonan GRC roster menjadi terlalu padat dan susah diaduk, sehingga adonan akan cepat mengering sebelum tercampur dengan rata.

Faktor kedua yang digunakan dalam pembuatan adonan GRC adalah pasir. Pasir memiliki angka perbandingan terkecil sebesar 1 dan perbandingan terbesar sebesar 3. Hal ini dikarenakan jika perbandingan komposisi pasir yang akan digunakan dalam adonan GRC roster kurang dari 1, maka produk GRC roster yang dihasilkan akan ringan dan memiliki tingkat kerapuhan yang tinggi. Jika perbandingan pasir dalam adonan GRC roster lebih dari 3, maka produk GRC roster yang dihasilkan akan mudah keropos dan menyebabkan permukaan produk GRC roster menjadi lebih kasar.

Semen memiliki angka perbandingan terkecil sebesar 0,5 dan perbandingan terbesar sebesar 2. Hal ini dikarenakan jika perbandingan komposisi semen yang digunakan kurang dari 0,5 akan menyebabkan adonan GRC roster sukar menyatu dan kekuatannya lebih rendah. Di lain sisi, jika perbandingan komposisi semen yang digunakan dalam adonan GRC roster lebih dari 2, maka akan menyebabkan produk membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lama.

Faktor terakhir yang digunakan dalam pembuatan GRC roster adalah air di mana memiliki angka perbandingan terkecil sebesar 0,8 dan perbandingan terbesar sebesar 1,2. Jika perbandingan komposisi air yang digunakan dalam adonan GRC roster lebih kecil dari 0,8 maka adonan

tersebut akan menjadi terlalu kental dan menyebabkan ketiga bahan baku lainnya tidak tercampur secara merata. Sedangkan apabila perbandingan air yang digunakan lebih besar dari 1,2 maka adonan GRC roster akan menjadi terlalu encer dan membuat kuat tekan berkurang karena memiliki kandungan air yang berlebihan.

Langkah selanjutnya adalah menentukan matriks orthogonal. Setelah faktor dan level ditetapkan, maka dapat dihitung derajat kebebasannya (*degrees of freedom*). Berikut perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen ini menggunakan rumus (1):

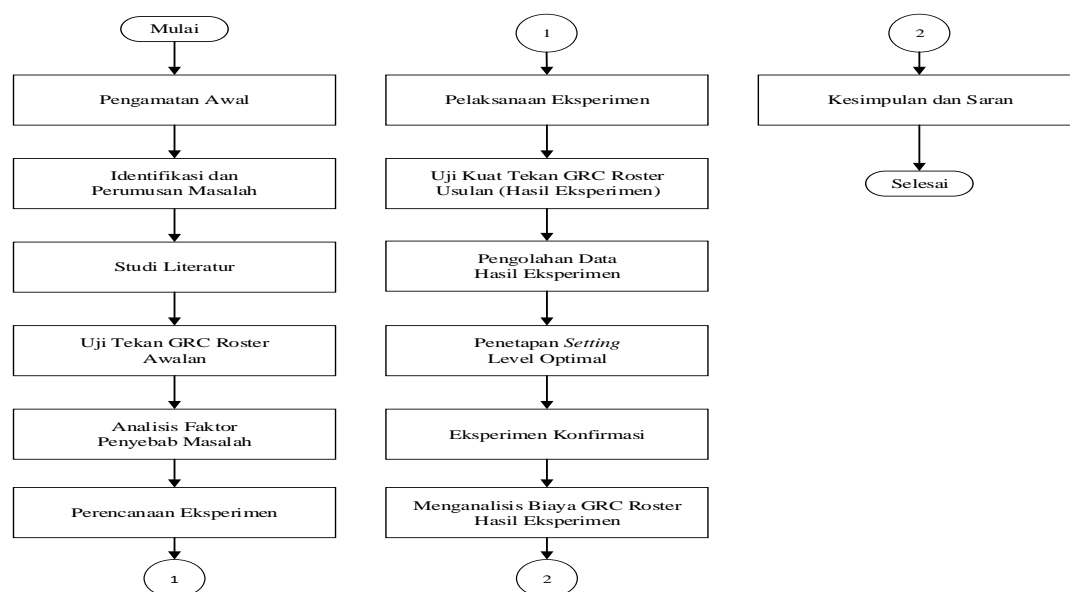
$$\begin{aligned}\text{Derajat Kebebasan} &= (\text{Jumlah level masing-masing faktor}-1) + 1 \text{ untuk nilai rata-rata} \\ &= 8 + 1 = 9\end{aligned}$$

Perhitungan derajat kebebasan di atas menunjukkan bahwa minimal percobaan yang dilakukan adalah sebanyak sembilan eksperimen. Berdasarkan ketentuan, didapatkan bahwa notasi

orthogonal array yang sesuai adalah $L_9(3^4)$ dimana hal ini menunjukkan bahwa percobaan minimal yang akan dilakukan adalah sebanyak sembilan kali.

3.3.2 Pelaksanaan eksperimen dan pengolahan data

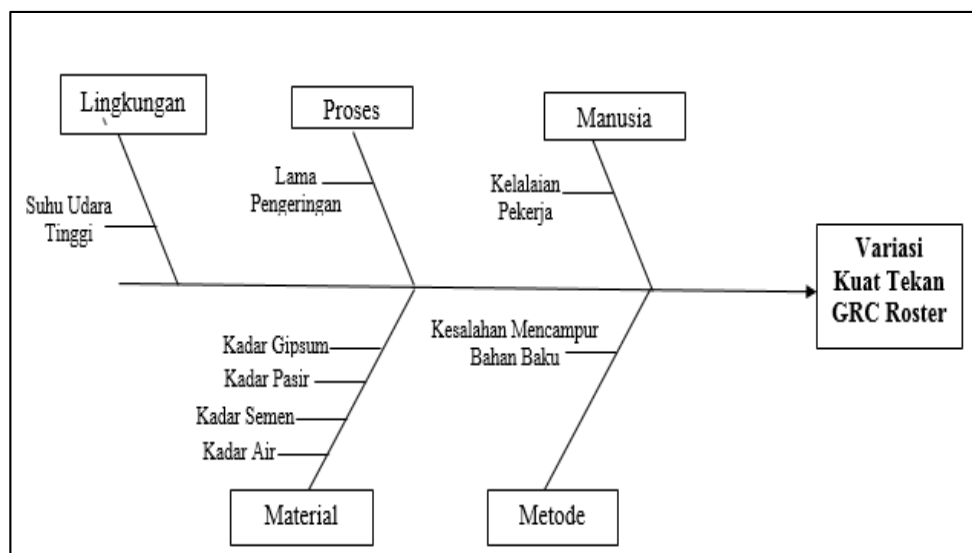
Pelaksanaan eksperimen dilakukan dengan menguji kuat tekat awalan dari GRC Roster yang saat ini ada di UD. XYZ. Hasil uji kuat tekan digunakan sebagai bahan pembandingan untuk hasil eksperimen desain komposisi optimal. Untuk menentukan desain komposisi optimal dilakukan dengan membuat rancangan komposisi eksperimen untuk masing-masing faktor dan level. Hasil rancangan komposisi kemudian dibuat dan hasilnya diuji kuat tekan. Pengujian dilakukan terhadap dua buah sampel untuk masing-masing eksperimen sehingga total GRC Roster yang diuji adalah sebanyak 18 buah. Hasil pengujian diolah menggunakan Rumus (2) hingga (10).



Gambar 1.
Diagram alir penelitian

Tabel 2:
Kombinasi Eksperimen

Eksperimen	Faktor			
	Gypsum	Pasir	Semen	Air
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	2
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1



Gambar 2.

Diagram sebab akibat kualitas GRC roster

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil uji kuat tekan produk

Hasil uji tekan GRC disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan data pada Tabel 3 didapatkan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 25,9 N setara 6,65 kg/cm² dan memiliki standar deviasi sebesar 2,188 serta varians sebesar 4,79. Adapun besar persentase simpangan berdasarkan uji tekan GRC roster awalan di atas adalah sebesar 32,9%.

4.2 Pembuatan dan pengujian kuat tekan untuk rancangan komposisi optimal

Total berat keseluruhan bahan yang digunakan adalah 6 kg untuk masing-masing eksperimen dalam memproduksi GRC roster. Rancangan yang berisi perbandingan komposisi eksperimen sesuai dengan matriks *orthogonal array* $L_9(3^4)$ serta konversi penggunaan bahan dalam satuan kilogram (kg) terdapat di Tabel 4 dan hasil pengujian GRC roster untuk masing-masing eksperimen terdapat di Tabel 5.

4.3 Hasil eksperimen

Data hasil pengujian kuat tekan GRC roster diolah untuk mendapatkan nilai rata-rata dan SNR dengan klasifikasi *larger the better*, kemudian dilakukan perhitungan ANOVA untuk mendapatkan faktor yang berpengaruh dan selang kepercayaan. Data perhitungan mean dan SNR untuk masing-masing eksperimen dapat dilihat di Tabel 6. Setelah mendapatkan nilai rata-rata dan SNR, pengolahan data dilanjutkan dengan perhitungan ANOVA. Adapun tabel dan grafik respon tersebut dapat dilihat di Tabel 7 dan Gambar 3. Hasil perhitungan ANOVA untuk nilai rata-rata yang telah dilakukan akan dirangkum ke dalam Tabel 8 untuk dianalisis lebih lanjut.

Berdasarkan hasil uji hipotesis di atas, didapatkan kesimpulan bahwa keempat faktor yang digunakan dalam eksperimen, yaitu gipsum, pasir, semen, dan air memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan GRC roster. Dalam metode Taguchi, dilakukan pula perhitungan terhadap ANOVA setelah *pooling up*. *Pooling up* ini merupakan suatu penggabungan faktor dengan signifikansi terendah sebagai *error*. Adapun tujuan dilakukan *pooling up* adalah untuk menghindari estimasi yang berlebihan dan juga untuk meminimalkan kesalahan pada eksperimen yang dilakukan.

Berdasarkan tabel perhitungan ANOVA setelah dilakukan *pooling up* didapatkan bahwa faktor A, C, dan D memang memiliki pengaruh atau kontribusi yang signifikan terhadap kuat tekan GRC roster. Sedangkan untuk faktor B sebenarnya juga memiliki kontribusi, namun kontribusinya lebih rendah. Di samping itu juga dapat dilihat persentase kontribusi sebesar 12,21%, dimana hal ini dapat diartikan bahwa semua faktor yang dikatakan signifikan berpengaruh terhadap nilai rata-rata sudah cukup untuk dilibatkan dalam eksperimen. Setelah mendapatkan hasil perhitungan ANOVA terhadap nilai rata-rata dan SNR, kemudian ditentukan *setting level* optimal untuk meningkatkan kualitas produk GRC roster. Tabel 10 menunjukkan penetapan *setting level* optimal sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan.

Tabel 3.

Uji kuat tekan GRC roster awalan

No	Beban Tekan (kN)	Konversi Beban (kg)	Luas Bidang (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
1	19	1937,468	400,02	4,84
2	19	1937,468	398,47	4,86
3	23	2345,356	403,35	5,81
4	38,5	3925,922	395,6	9,92
5	30	3059,16	392,98	7,78
Rata-rata				6,65
Standar deviasi				2,188
Variance				4,790

Tabel 4.

Rancangan komposisi eksperimen

Eksperimen	Perbandingan Komposisi				Konversi (Kg)				Total
	Gypsum	Pasir	Semen	Air	Gypsum	Pasir	Semen	Air	
1	1	1	0,5	0,8	1,82	1,82	0,91	1,45	6
2	1	2	1	1	1,20	2,40	1,20	1,20	6
3	1	3	2	1,2	0,83	2,50	1,67	1,00	6
4	1,5	1	1	1	2,00	1,33	1,33	1,33	6
5	1,5	2	2	0,8	1,43	1,90	1,90	0,76	6
6	1,5	3	0,5	1	1,50	3,00	0,50	1,00	6
7	2	1	2	1	2,00	1,00	2,00	1,00	6
8	2	2	0,5	1,2	2,11	2,11	0,53	1,26	6
9	2	3	1	0,8	1,76	2,65	0,88	0,71	6

Tabel 5.

Hasil pengujian eksperimen GRC roster usulan (hasil eksperimen).

Eksperimen	Beban Tekan (kN)	Konversi (kg)	Luas Bidang (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
1	29	2.957,19	400,13	7,39
	29	2.957,19	399,04	7,41
2	36	3.670,99	401,35	9,15
	36	3.670,99	400,64	9,16
3	37	3.772,96	398,98	9,46
	37	3.772,96	400,05	9,43
4	30	3.059,16	399,45	7,66
	29	2.957,19	398,78	7,42
5	52	5.302,54	400,24	13,25
	52	5.302,54	401,06	13,22
6	43	4.384,80	398,58	11,00
	45	4.588,74	400,22	11,47
7	52	5.302,54	400,53	13,24
	51	5.200,57	399,92	13,00
8	37	3.772,96	398,83	9,46
	37	3.772,96	398,77	9,46
9	40	4.078,88	401,26	10,17
	40	4.078,88	400,53	10,18

Tabel 6.Hasil perhitungan nilai *Mean* dan SNR.

Eksperimen	Hasil Uji Tekan (kg/cm ²)		Jumlah	Mean (μ)	SNR
	1	2			
1	7,39	7,41	14,80	7,40	17,39
2	9,15	9,16	18,31	9,15	19,23
3	9,46	9,43	18,89	9,44	19,50
4	7,66	7,42	15,07	7,54	17,54
5	13,25	13,22	26,47	13,23	22,43
6	11,00	11,47	22,47	11,23	21,00
7	13,24	13,00	26,24	13,12	22,36
8	9,46	9,46	18,92	9,46	19,52
9	10,17	10,18	20,35	10,17	20,15

Tabel 7.

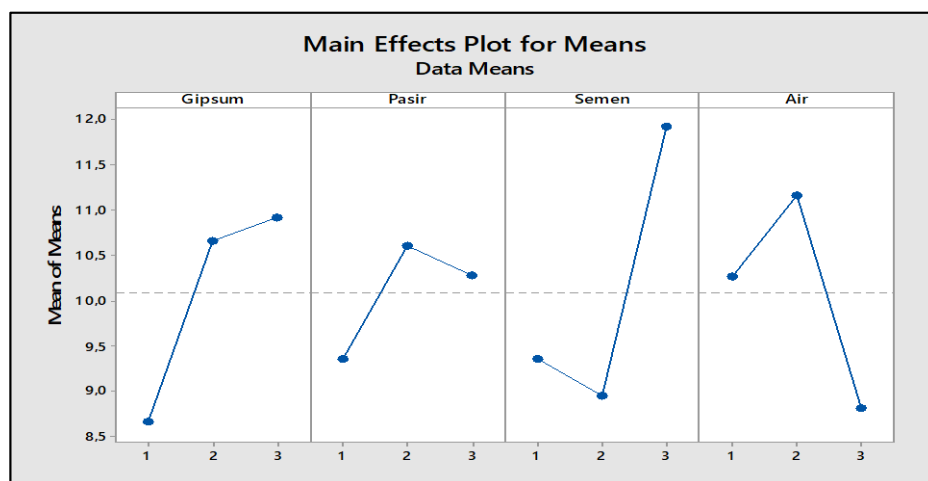
Respon nilai rata-rata

	Faktor			
	Gypsum (A)	Pasir (B)	Semen (C)	Air (D)
1	8,666	9,353	9,365	10,270
2	10,668	10,617	8,955	11,170
3	10,919	10,284	11,933	8,814
Ranking	3	2	3	2

Tabel 8.

Hasil perhitungan ANOVA untuk nilai rata-rata

Source	SS	DF	MS	F _{ratio}	SS'	Ratio (%)	F _{tabel}
A	18,415	2	9,2075	230,1875	18,335	25,20	3,68
B	5,39	2	2,695	67,375	5,31	7,30	3,68
C	31,38	2	3,19	392,25	31,3	43,02	3,68
D	17,20	2	3,60	215	17,12	23,53	3,68
Error	0,361	9	0,04	1	0,681	0,95	
SS _t	72,746	17			72,746	100	
Mean	1.830,367	1					
SS _{total}	1902,4	18					

**Gambar 3.**

Grafik respon nilai rata-rata

Tabel 9.Hasil perhitungan ANOVA setelah *pooling up*

Source	SS	DF	MS	F _{ratio}	SS'	Ratio (%)	F _{tabel}
A	18,415	2	9,2075	17,63	17,371	23,87	3,98
B	5,39	-	-	-	-	-	-
C	31,38	2	3,19	6,11	30,336	41,70	3,98
D	17,20	2	3,60	6,89	16,156	22,20	3,98
Error	0,361	-	-	-	-	-	-
Pooled	5,751	11	0,522	1	8,883	12,21	
SS _t	72,746	17			72,746	100	
Mean	1.830,367	1					
SS _{total}	1902,4	18					

Tabel 10.

Setting level optimal.

Faktor	Kode	Level	Perbandingan	Konversi (kg)
Gypsum	A	3	2	1,71
Pasir	B	2	2	1,71
Semen	C	3	2	1,71
Air	D	2	1	0,85

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat bahwa kombinasi level optimal yang didapatkan adalah A₃, B₂, C₃, dan D₂. Adapun kombinasi yang didapatkan dari *setting* level optimal pada tabel 4.19 di atas tidak terdapat pada eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya, sehingga perlu dilakukan suatu eksperimen konfirmasi agar didapatkan kualitas kuat tekan produk GRC roster yang optimal.

4.4 Confidence interval kondisi optimal

Setelah mendapatkan *setting* level yang optimal, maka perlu untuk dilakukan perhitungan selang kepercayaan terhadap kondisi optimal tersebut. Perhitungan selang kepercayaan akan dilakukan untuk nilai rata-rata dan SNR menggunakan rumus (15) hingga rumus (18):

Berdasarkan hasil perhitungan $\mu_{prediksi}$ dan CI_{mean} , maka didapatkan selang kepercayaan nilai rata-rata optimal sebagai berikut:

$$\mu_{prediksi} - CI_{mean} \leq \mu_{prediksi} \leq \mu_{prediksi} + CI_{mean}$$

$$13,267 \leq \mu_{prediksi} \leq 15,507$$

Berdasarkan hasil perhitungan SNR dan CI_{mean} , maka didapatkan selang kepercayaan nilai SNR_{prediksi} optimal sebagai berikut:

$$SNR_{prediksi} - CI_{SNR} \leq SNR_{prediksi}$$

$$\leq SNR_{prediksi} + CI_{SNR}$$

$$18,693 \leq SNR_{prediksi} \leq 28,667$$

4.5 Hasil eksperimen konfirmasi

Eksperimen konfirmasi merupakan eksperimen yang dilakukan dengan tujuan untuk melakukan validasi terhadap kesimpulan yang didapatkan dari

perhitungan sebelumnya. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan rancangan atau kombinasi dari *setting* level optimal yang telah didapatkan. Data hasil pengujian terhadap lima buah sampel GRC roster hasil eksperimen konfirmasi dapat dilihat di Tabel 11.

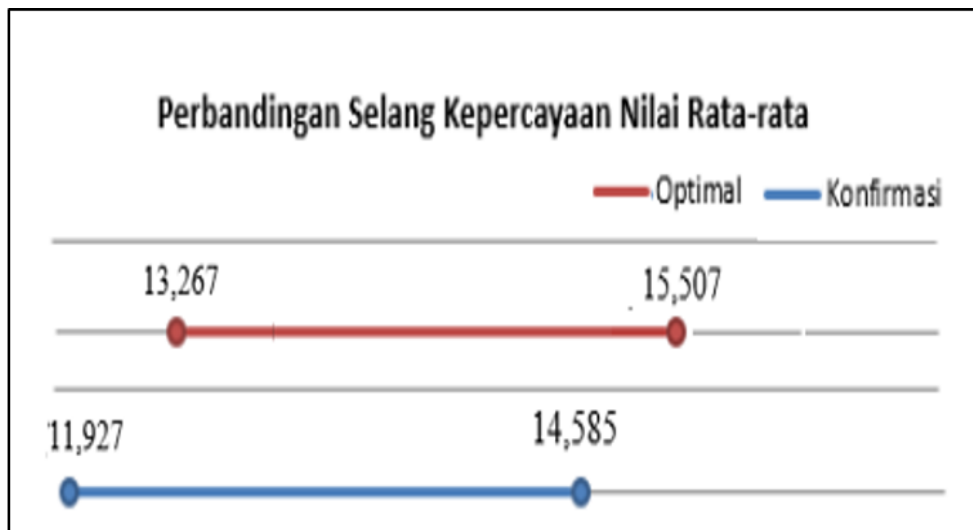
Setelah didapatkan hasil perhitungan selang kepercayaan terhadap eksperimen konfirmasi, maka hasil tersebut akan dibandingkan dengan selang kepercayaan kondisi optimal. Selang kepercayaan untuk eksperimen konfirmasi dihitung dengan menggunakan rumus (19). Perbandingan selang kepercayaan optimal dengan konfirmasi untuk masing-masing nilai rata-rata dan SNR terdapat di Gambar 4 dan 5.

Berdasarkan Gambar 4, dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai rata-rata dapat diterima. Hal ini dapat dilihat bahwa garis selang kepercayaan eksperimen konfirmasi bersinggungan dengan garis selang kepercayaan kondisi optimal. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa hasil eksperimen konfirmasi untuk nilai SNR dapat diterima. Hal ini dilakukan sesuai dengan pertimbangan selang kepercayaan dimana garis selang kepercayaan eksperimen konfirmasi pada gambar di atas bersinggungan dengan garis selang kepercayaan pada kondisi optimal. Berdasarkan hasil uji kuat tekan dari GRC roster usulan menunjukkan rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi (13,26) dari rata-rata kuat tekan produk yang ada saat ini (6,65) dengan variance yang secara signifikan lebih rendah yaitu dari 4,79 menjadi 0,00086.

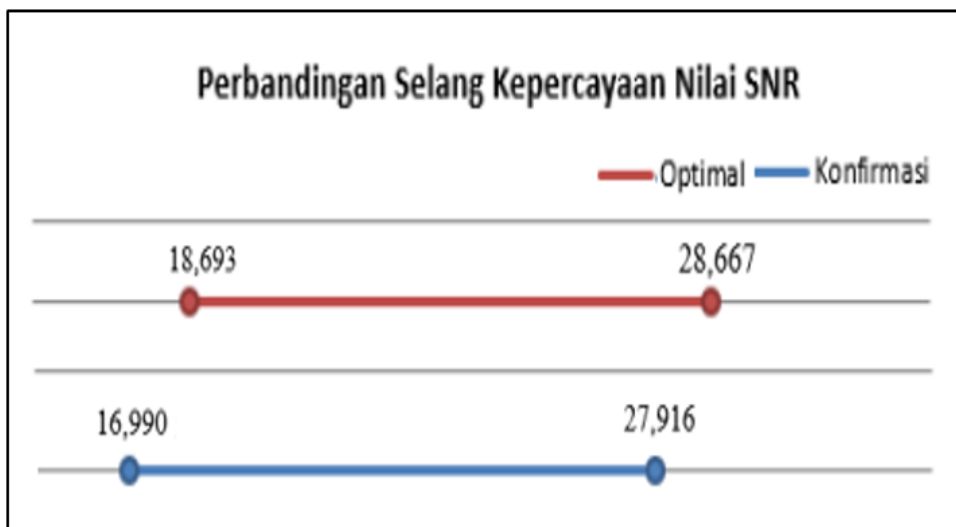
Tabel 11.

Hasil pengujian terhadap eksperimen konfirmasi

No.	Beban Tekan (kN)	Konversi Beban (kg)	Luas Bidang (cm ²)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
1	52	5302,544	300,2	13,24974
2	52	5302,544	301,32	13,21276
3	52	5302,544	299,45	13,27461
4	52	5302,544	298,98	13,29025
5	52	5302,544	300,12	13,25238
Rata-rata				13,25595
Standar deviasi				0,029333
Variance				0,00086

**Gambar 4.**

Perbandingan selang kepercayaan nilai Rata-rata.

**Gambar 5.**

Perbandingan selang kepercayaan nilai SNR.

Tabel 12.

Rincian harga bahan baku

No.	Bahan Baku	Harga
1	Gypsum	Rp 1.125,00/kg
2	Pasir	Rp 112,5/kg
3	Semen	Rp 1.335,00/kg
4	Air	Rp 4,00/L

Tabel 13.

Biaya produksi masing-masing eksperimen.

Eksperimen	Konversi (kg)				Hasil Uji Kuat Tekan (kg/cm ²)	Biaya Produksi	
	Gypsum	Pasir	Semen	Air			
1	1,82	1,82	0,91	1,45	7,4	Rp	3.472,90
2	1,20	2,40	1,20	1,20	9,15	Rp	3.228,96
3	0,83	2,50	1,67	1,00	9,44	Rp	3.448,45
4	2,00	1,33	1,33	1,33	7,54	Rp	4.180,50
5	1,43	1,90	1,90	0,76	13,23	Rp	4.366,04
6	1,50	3,00	0,50	1,00	11,23	Rp	2.696,50
7	2,00	1,00	2,00	1,00	13,12	Rp	5.036,50
8	2,11	2,11	0,53	1,26	9,46	Rp	3.323,72
9	1,76	2,65	0,88	0,71	10,17	Rp	3.455,77
Konfirmasi*	1,71	1,71	1,71	0,857	13,256	Rp	4.402,403

4.6 Hasil eksperimen konfirmasi

Analisis selanjutnya yang dapat dilakukan dilihat dari segi biaya produksi yang dikeluarkan. Perhitungan biaya produksi ini dihitung berdasarkan bahan baku yang digunakan untuk memproduksi satu buah GRC roster. Berdasarkan informasi yang diberikan, didapatkan bahwa biaya produksi yang dikeluarkan oleh UD. XYZ Malang adalah Rp 90.500,00 untuk menghasilkan 15 buah GRC roster.

Berdasarkan data tersebut, maka akan dilakukan perincian harga masing-masing bahan baku pembuatan GRC roster. Rincian harga bahan baku untuk membuat satu buah GRC roster terdapat di Tabel 12. Adapun hasil perhitungan biaya produksi untuk masing-masing eksperimen yang telah dilakukan berdasarkan rincian bahan baku GRC roster dapat dilihat di Tabel 13.

Berdasarkan data uji kuat tekan dan biaya produksi, selanjutnya dilakukan analisis terhadap kualitas GRC roster yang dilihat dari untuk masing-masing hasil eksperimen. Keseluruhan eksperimen yang telah dilakukan menghasilkan kuat tekan GRC roster yang lebih tinggi dari GRC roster awalan. Selain itu, didapatkan bahwa keseluruhan eksperimen yang dilakukan mengeluarkan biaya produksi yang lebih rendah dari biaya produksi yang dikeluarkan untuk memproduksi GRC roster yang sudah ada di UD. XYZ Malang.

Jika dilakukan perbandingan terhadap masing-masing eksperimen berdasarkan kuat tekan dan biaya yang dikeluarkan, didapatkan bahwa ada dua pilihan produk GRC roster yang optimal. Eksperimen ke 6 memiliki kuat tekan sebesar 11,23 kg/cm² dan mengeluarkan biaya terendah di antara GRC roster lainnya yakni sebesar Rp 2.696,50. Hasil dari eksperimen enam tersebut memiliki kuat tekan di peringkat keempat dan juga biaya produksi yang dikeluarkan sangat rendah. Namun, eksperimen enam memiliki kekurangan yakni memiliki varians yang cukup besar. Apabila dibandingkan dengan hasil eksperimen konfirmasi yang memiliki kuat tekan sebesar 13,256 kg/cm² dengan harga Rp 4.402,403, produk GRC roster hasil eksperimen konfirmasi ini sama-sama memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dan biaya yang dikeluarkan sama-sama lebih rendah daripada produk GRC roster awalan. Namun, nilai kuat tekan eksperimen konfirmasi ini lebih tinggi dari eksperimen enam meskipun biayanya lebih tinggi. Berdasarkan analisis perbandingan kedua hasil eksperimen tersebut, eksperimen konfirmasi dipilih sebagai kombinasi GRC roster yang paling optimal, karena memiliki kuat tekan tertinggi dibandingkan yang lainnya serta biaya yang dikeluarkan lebih rendah daripada produk GRC roster yang diproduksi UD. XYZ Malang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kualitas produk GRC roster di UD. XYZ Malang memiliki varians yang

cukup besar berdasarkan kuat tekannya sehingga perlu untuk dilakukan perbaikan atau peningkatan kualitas terhadap produk tersebut. Setelah dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan diagram sebab akibat, didapatkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas GRC roster dibagi ke dalam faktor kontrol dan faktor gangguan. Faktor kontrol terdiri dari material dan metode yang meliputi kadar komposisi bahan baku dan kesalahan mencampur. Sedangkan faktor gangguan yang mempengaruhi kualitas GRC roster ini seperti faktor manusia, lingkungan, dan proses yang meliputi kelalaian pekerja, suhu udara yang panas, dan lama pengeringan.

Adapun pemecahan masalah untuk meningkatkan kualitas GRC roster adalah dengan melakukan desain eksperimen menggunakan metode Taguchi. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan rancangan sembilan komposisi yang diperoleh dari matriks ortogonal. Komposisi atau *setting* level optimal yang didapatkan adalah A_3 , B_2 , C_3 , dan D_2 dimana perbandingan faktor yang digunakan pada level tersebut adalah 2:2:2:1 dengan komposisi gipsum 1,71 kg, pasir 1,71 kg, semen 1,71 kg, dan air 0,85 kg yang dilakukan dengan eksperimen konfirmasi. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah membandingkan kualitas GRC roster dengan membandingkan rata-rata kuat tekan GRC roster awalan dan GRC roster usulan adalah 6,65 kg/cm² dan 13,256 kg/cm². Berdasarkan analisis perbandingan hasil antar eksperimen, eksperimen konfirmasi dipilih sebagai kombinasi GRC roster yang paling optimal, karena memiliki kuat tekan tertinggi dengan varians rendah dibandingkan yang lainnya serta biaya yang dikeluarkan lebih rendah daripada produk GRC roster yang diproduksi UD. XYZ Malang. Hal ini dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kualitas setelah dilakukan eksperimen dengan menggunakan kombinasi komposisi yang baru. Selain itu, dengan menggunakan komposisi usulan yang diberikan, maka biaya yang dikeluarkan akan lebih murah Rp 1.630,927 per GRC roster sehingga hal ini akan meningkatkan keuntungan yang akan diperoleh UD. XYZ Malang.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian yang selanjutnya adalah menambah jumlah level pada masing-masing faktor untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti. Sedangkan saran yang dapat diberikan untuk UD. XYZ Malang adalah meningkatkan kualitas produk GRC roster yang dihasilkan. Peningkatan kualitas dapat dilakukan dengan menggunakan kombinasi komposisi yang telah dirancang pada penelitian ini. Selain itu, dengan adanya kombinasi komposisi yang optimal dari bahan baku tersebut dapat dibuat sebuah alat atau wadah khusus yang berfungsi untuk mengambil masing-masing bahan baku sesuai

dengan besarnya takaran dimana ukuran alat tersebut memiliki ukuran yang sama dengan komposisi bahan baku yang diusulkan melalui penelitian ini untuk memproduksi GRC roster di UD. XYZ Malang.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Angelina, Y. D. & Noya, S. 2017. The Quality Improvement Of Concrete Paving Products Using Taguchi Methods. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 5(1): 44-53.
2. Balavendram, N. 1995. *Quality by Design: Taguchi Techniques for Industrial Experimentation*. London: Prentice Hall.
3. Febriana, I. 2006. *Modul Pelatihan Pembuatan Ubin atau Paving Blok dan Batako*. Jakarta: International Labour Office Jakarta.
4. Daniel, M. 2002. *Pengantar Ekonomi Pertanian*. Jakarta: Bumi Aksara.
5. Gaspersz, V. 2002. *Metode Analisis Untuk Peningkatan Kualitas*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
6. Montgomery, D. C. 2009 *Introduction to Statistical Quality Control*. 6th Edition. New York: John Wiley and Sons.
7. Setyanto, N. W. & Lukodono, R. P. 2017. *Teori dan Aplikasi Desain Eksperimen Taguchi*. Malang: UB Press.
8. Soejanto, I. 2009. *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*, Yogyakarta: Graha Ilmu.
9. Widha, N. 2019. Aplikasi metode Taguchi untuk mereduksi jumlah produk cacat lilin standar HAN 17 (Studi kasus: CV. Dwi Pelita Mas), *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya, Malang [Diakses pada tanggal 24 April 2019].